

Process and apparatus for humidifying process gas for operating fuel cell systemsPatent Number: ☐ US5432020

Publication date: 1995-07-11

Inventor(s): FLECK WOLFRAM (DE)

Applicant(s): DAIMLER BENZ AG (DE)

Requested
Patent: ☐ DE4318818Application
Number: US19940257328 19940607Priority Number
(s): DE19934318818 19930607IPC
Classification: H01M8/04EC Classification: H01M8/04C2Equivalents: ☐ EP0629013, A3, B1, B2, ☐ EP0629014, A3, B1, JP2684159B2, JP2743147B2,
☐ JP7014597, ☐ JP7014599, ☐ US5434016

Abstract

A process and an apparatus humidify process gas for operating fuel cell systems. To ensure high efficiency, the process gas must be introduced at a predetermined temperature and humidity. A metered quantity of fine water droplets is injected into the gas supply line, by way of which the process air is humidified. If the fuel cell is operated under pressure, the process air generally has to be cooled after it has been compressed. The process air is automatically cooled as a result of a partial evaporation of the water droplets while the residual quantity of water in the form of droplets is introduced into the fuel cell.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 18 818 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
H 01 M 8/04

②1 Aktenzeichen: P 43 18 818.4
②2 Anmeldetag: 7. 6. 93
④3 Offenlegungstag: 8. 12. 94

DE 43 18 818 A 1

⑦1 Anmelder:
Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

⑦2 Erfinder:
Fleck, Wolfram, Dipl.-Ing., 88048 Friedrichshafen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

- ⑤4 Verfahren zur Bereitstellung von Prozessluft für luftatmende Brennstoffzellensysteme
⑤7 Verfahren zur Bereitstellung von Prozeßluft für luftatmen-
de Brennstoffzellensysteme.

DE 43 18 818 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft die Bereitstellung von konditionierter Prozeßluft für den Einsatz in luftatmenden Brennstoffzellen.

Insbesondere ist die Erfindung für den Einsatz in "proton exchange membrane"-Brennstoffzellen Systemen (PEM-Technik) geeignet. Es kann sich dabei um mobile und stationäre Brennstoffzellensysteme handeln, wie z. B. für den Einsatz im Kraftfahrzeug (Kfz) und Bahnsystemen sowie für die dezentrale Stromversorgung.

Der Wasserstoff, notwendig für die Reaktion, wird über ein getrenntes System zugeführt. Die Luft wird im Druck und Volumenstrom sowie in der Temperatur und Feuchte beeinflusst. Luft wird der Kathode, Wasserstoff der Anode zugeführt. Bei der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff entstehen neben der erzeugten elektrischen Energie auch Produktwasser und Reaktionswärme. Produktwasser und Reaktionswärme werden zu einem großen Teil mit der Prozeßluft aus dem Brennstoffzellensystem abtransportiert.

Um einen hohen Wirkungsgrad und große Leistungsdichte im System zu erzielen, muß die Brennstoffzelle bei möglichst hohem Druck und mit befeuchteten Gasen betrieben werden. Um dies zu gewährleisten muß z. B. die vom Verdichter bereitgestellte Prozeßluft mit dem niedrigst möglichen Energieaufwand erzeugt werden. Ein Optimum an Leistungsabgabe des Brennstoffzellensystems wird dann erreicht, wenn der Luftüberschuß und der Betriebsdruck an die jeweilige Brennstoffzellen-Konfiguration angepaßt wird. Des weiteren muß der Verdichter über eine hohe Drehzahlspitzleistung verfügen, sowie über einen hohen Wirkungsgrad im gesamten Drehzahlbereich.

Aufgrund der bei der Kompression entstehenden Wärme, insbesondere bei höheren Druckverhältnissen, wird eine Luftvorkühlung notwendig, die durch Einspritzen von Wasser erreicht werden kann und gleichzeitig die erforderliche Befeuchtung der Luft gewährleistet.

Der Arbeitsaufwand für den Kompressor/Verdichter steigt quadratisch mit dem Druck (Förderhöhe) und proportional mit dem geförderten Massenstrom. Die Verdichterleistung steigt mit der dritten Potenz zum Volumenstrom der Luft. Mit zunehmenden Luftdruck und Luftüberschußverhältnis (Stöchiometrie), nimmt die erzeugte Brennstoffzellenleistung bei gleicher Strombelastung zu.

Um den notwendigen Betriebsdruck aufbauen zu können, benutzt man üblicherweise ein Druckhalteventil, welches den Betriebsdruck aufbaut und die Abluft der Reaktion ins Freie abbläst (Vordruckregler, Drossel oder Domdruckregler). Die Druckenergie, die dem Medium aufwendig zugeführt wird, geht bei dieser Verfahrensweise ungenutzt über die Systemgrenze verloren.

Aufgabe der Erfindung ist, bei luftbetriebenen Brennstoffzellensystemen, insbesondere für den Einsatz der oben beschriebenen Art, die Luft energetisch günstig zu verdichten, zu befeuchten und zu regeln sowie durch Energierückgewinnung aus Abgas/Abluft, den gesamten Bedarf für Hilfsenergie gegenüber herkömmlichen Techniken zu minimieren und gleichzeitig den für die Brennstoffzellen notwendigen verfahrenstechnischen Aufwand zum Regeln des Wasserhaushaltes deutlich zu reduzieren.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand des Hauptanspruchs und der Unteransprüche gelöst.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines schematischen Fließbildes näher erläutert.

Mittels eines Filters 2 wird die Luft aus der Umgebung 4 angesaugt und dem Verdichtereinlauf 6 zugeführt. Die Luft wird verdichtet und danach mit Wasser gemischt. Das Wasser wird mittels einer Einspritzpumpe 8 genau dosiert zugeführt. Die Wassertropfen werden durch die Abwärme der Kompression verdampft 10. Hierbei sinkt entsprechend der Menge des eingespritzten Wassers die Gasgemischtemperatur auf den erforderlichen Eingangswert für die Brennstoffzelle 12. Ein sonst zur Anpassung von Verdichteraustrittstemperatur und Brennstoffzellen-Betriebstemperatur notwendiger Luftvorkühler entfällt dadurch. Wird das Wasser vor der Verdichtung eingespritzt (im Saughub), läßt sich die Verdichterleistung um weiter 6% bis 8% vermindern.

Das teilbefeuchtete Gas tritt nun in die Befeuchtereinheit 14 der Brennstoffzelle ein und wird den Erfordernissen der Brennstoffzelle gemäß weiter aufbereitet.

Beim Verlassen der Brennstoffzelle ist der Luftstrom um den konsumierten Sauerstoffanteil reduziert. Gleichzeitig steigt der Wasserdampfanteil durch den Produktwasseranteil, der bei der H_2/O_2 -Reaktion freigesetzt wird, an. Das Gemisch aus feuchter Luft und Wassertropfen wird einer Expanderstufe 16 zugeführt, welcher ein Flüssigkeitsabscheider 18 vorgeschaltet ist. Die Expanderstufe wandelt die noch vorhandene Druckenergie des Abgases in mechanische Arbeit um. Die auf diese Weise rückgewonnene Arbeit wird dem Verdichter direkt über eine Welle 20 zugeführt.

Am Expander-Austritt 22 befindet sich ein Wasserabscheider 24, welcher den flüssigen Anteil aus dem Abluft/Wasserdampfgemisch abtrennt. Das gesammelte Kondensat kann dem System im Bedarfsfalle wieder zugeführt werden.

Ein Teil des Rückkondensats wird der Einspritzpumpe 8 zugeführt. Die Einspritzpumpe kann mechanisch von der Verdichterwelle angetrieben, oder elektrisch getrennt betrieben werden.

Expander und Verdichter basieren auf dem Verdrängerprinzip. Es handelt sich um spaltabgedichtete Maschinen mit fettgeschmierten Wälzlagern für die Läufergruppen.

Der Verdichter basiert auf dem volumetrischen Pumpprinzip mit einer inneren Verdichtung (Reaktion des Rotationsfördervolumens während einer Umdrehung). So werden höchste Wirkungsgrade erreicht.

Fettgerüche werden direkt nach außen über das Getriebegehäuse 26 entlüftet, um eine Verunreinigung der Kompressorluft zu vermeiden.

Auf diese Art und Weise wird eine Filtereinheit nach der Verdichtung vermieden. Der Expander arbeitet nach dem Gleichraumprinzip, kann aber auch nach dem üblichen Turbinenprozeß der polytropen Expansionsarbeit arbeiten (Erweiterung des Rotationsfördervolumens während einer Umdrehung). Verdichter und Expander befinden sich auf einer Welle. Der Expander ist so gestaltet, daß sich immer ein unterstützendes Moment auf die

Verdichterwelle einstellt. Mit der richtigen Auswahl eines geeigneten Schluckvermögens (Expanderdurchsatzvermögen) des Expanderteiles kann der zu erreichende Enddruck bei entsprechendem Durchsatz gewählt werden.

Das gesamte Verfahren wird vorzugsweise mit einer innenachsigem Drehkolbenmaschine realisiert. Verdichter und Expander sind in einem Gehäuse integriert. Der Startermotor 28 sowie der Hauptantrieb 30 werden angeflanscht. 5

Damit beim speziellen Einsatz von Verdrängermaschinen während des Teillastbetriebes der Expander kein negatives Moment auf den Verdichter ausüben kann, befindet sich vor der Turbine eine Klappe 32, die bei Unterdruck vor dem Expander Luft von außen ansaugt. Sobald der Druck vor dem Expander steigt, wird diese Klappe vom Innendruck automatisch geschlossen und der Expander gibt Arbeit an den Verdichter ab. 10

Regelung und Teillastverhalten

Das energiesparende Betreiben eines Brennstoffzellensystems wird durch Anpassen der Luftmenge bewerkstelligt. Nach dem Faraday'schen Gesetz ist der Sauerstoffbedarf proportional zum Strom, welcher sich bei entsprechender Lastanforderung einstellt. Um sicheren Betrieb der Brennstoffzelle zu erzielen, muß man den Sauerstoff überstöchiometrisch anbieten. Damit die Brennstoffzellen-Leistung variiert werden kann, ohne große Wirkungsgradverluste, benötigt man einen Verdichterantrieb, der sich gut drehzahlregeln läßt. Damit wird immer nur soviel Druckluft wie notwendig bereitgestellt. 15

Der Verdichter erhält seinen Antrieb durch einen permanent erregten Synchronmotor, der den Anforderungen entsprechend gut drehzahlregelt werden kann und einen hohen Wirkungsgrad gewährleistet. Die Versorgungsspannung des Motors wird durch den Spannungshub der Brennstoffzellen bei dynamischem Betrieb beeinflußt. Der Motorstromsteller regelt diese Schwankungen der Versorgungsspannung aus. 20

Die Drehzahl des Motors wird entsprechend dem Luftstrom geregelt. Der Luftstrom wird als eine Funktion des Brennstoffzellenstromes und dem notwendigen Überschußfaktor (Stöchiometrie) des Sauerstoffes in einer Kurve abgelegt. Dieser Funktionszusammenhang ermöglicht die Ermittlung des Sollwertes für die Volumenstromregelung. Der Luftvolumenstrom 34 wird nach dem Filter erfaßt (Istwert). 25

Der Brennstoffzellenstrom wird gemessen und mittels oben beschriebener Funktion in den Sollwert des Volumenstromes ermittelt. Die Abweichung geht in eine Drehzahlregelung für den Motor ein.

Für die mobile Anwendung, insbesondere im Fahrzeugbereich, wird der Antriebsmotor mit einem Startermotor aktiviert. Der Kompressormotor wird von der Regelung freigeschaltet und kann, solange der Hilfsmotor arbeitet, frei mitlaufen. So ist es möglich den Kompressor mit einer üblichen Gleichspannungsversorgung in einen stabilen Betriebszustand zu befördern. Der stabile Betriebspunkt ist dadurch gekennzeichnet, daß ein für die Brennstoffzellen minimaler Betriebsdruck und ein minimaler Volumenstrom bereitgestellt wird, der eine Selbstversorgung des Brennstoffzellensystems gewährleistet. Danach schaltet sich der Starter ab und der Hauptantrieb wird aktiviert. Das Luftantriebssystem sowie das Brennstoffzellensystem befinden sich nun im Selbsterhaltungsmodus, bei dem keine weitere Hilfsenergie, wie z. B. aus einer Batterie, benötigt wird. 30

Durch die geringen Trägheitsmomente der gesamten Luftversorgungseinheit (kompakter Motor und Verdichter sowie Expanderstufe) und die hohe Drehzahländerungsgeschwindigkeit des oben beschriebenen Elektromotors, gelingt es sehr kurze Reaktionszeiten zu verwirklichen, was eine sehr hohe Dynamik der Luftversorgung zur Folge hat. Die Hochlaufzeiten liegen im Bereich von 50 bis 100 ms. Diese Dynamik ermöglicht es, die Luftversorgung auch in stark und schnell schwankenden Stromerzeugungssystemen einzusetzen, wie sie z. B. im Fahrzeugbereich notwendig sind. 35

Abkürzungen

Deutsch		Englisch	
BZ	Brennstoffzelle	FC	Fuelcell
KFZ	Kraftfahrzeug		
PKW	Personenkraftwagen		
Stack	Stapel aus Einzelzellen	Stack	Stack
PEM	Protonenleitende Elektrolyt Membran	PEM	Protonen exchange membrane

Patentansprüche

1. Luftversorgung für ein luftatmendes Brennstoffzellensystem, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verdichter mit folgenden Merkmalen verwendet wird:

- Verdichtung nach dem Verdrängerprinzip
- spaltabgedichtete Verdrängerkörper
- ölfrei arbeitend
- Drehzahlspitzung von mindestens 1 : 10.

2. Luftversorgung für ein luftatmendes Brennstoffzellensystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine

- innenachsige Drehkolbenmaschine nur in den Wälzlagern fettgeschmiert mit einer Entlüftung des Synchronisationsgetriebes nach außen verwendet wird;
- Einsatz direkt vor der Brennstoffzelle möglich wird, ohne zusätzliche Filtersysteme nach der Verdichtung;
- Verdichtung mit Wassereinspritzung zur gleichzeitigen Temperaturabsenkung und Befeuchtung des Gases.

3. Luftversorgung für ein luftatmendes Brennstoffzellensystem nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine

- Maschine der Bauart Wankel (W84 und folgende Entwicklungen) auch am Austritt des Brennstoffzellensystems verwendet wird, um Energierückgewinnung zu praktizieren, wobei der baugleiche Apparat als Expander eingesetzt und auf einer Welle mit der Verdichterstufe sitzt;
- der Expander hochfeuchte Luft entspannen kann und gleichzeitig Abkühlung der Abluft durch Expansion des Luft-Wasserdampfgemisches bewerkstelligt wird.

4. Luftversorgung für ein luftatmendes Brennstoffzellensystem nach Ansprüchen 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine autarke Startmöglichkeit aus üblichen Batterienetzen möglich ist mittels eines Startermotors.

5. Luftversorgung für ein luftatmendes Brennstoffzellensystem nach Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß folgende Regelungstechnik verwendet wird:

- Regelungskonzept über Brennstoffzellenstrom- und Volumenstromerfassung. Erzeugung eines Sollwertes für den Volumenstrom aus einer durch Versuch bestimmten funktionalen Abhängigkeit von Brennstoffzellenstrom und Volumenstrom.

6. Luftversorgung für ein luftatmendes Brennstoffzellensystem nach Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Anwendung besonders für die Verwendung in Brennstoffzellensysteme, insbesondere luftatmende Systeme und der PEM-Technologie geeignet ist, sowie für den Einsatz in stationäre und mobile Energieerzeugungssystemen.

7. Luftversorgung für ein luftatmendes Brennstoffzellensystem nach Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein gutes Teillastverhalten mit der unter 1. bis 4. beschriebener Maschine erreicht wird, indem ein permanent erregter Synchronmotor Verwendung findet. Diese Antriebsart verleiht der Luftversorgung die notwendige Dynamik für kurzzeitige und schnelle Laständerungen.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

